

"Documento original en mal estado"

Capítulo 3

Descripción de las amenazas naturales y de sus efectos en los sistemas de agua potable y alcantarillado

Introducción

La evaluación del peligro en la zona o región en estudio es esencial para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo. El historial de desastres de la región aporta una información muy valiosa para esta evaluación.

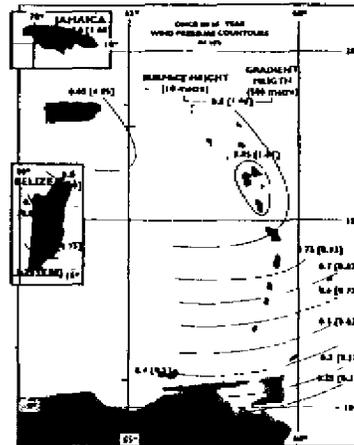
En el caso de los sismos, es ideal disponer de información sobre las fuentes tectónicas y sus tasas medias de desplazamiento, las leyes de atenuación, varianzas, normas de diseño, entre otras. Es usual que el análisis de vulnerabilidad sísmica sea realizado por un equipo conjunto de consultores privados, de instituciones especializadas y profesionales de la empresa. Los primeros aportarán los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo sísmico, y los segundos el conocimiento de la estructura y su importancia relativa.

Para los huracanes, la evaluación se fundamenta en información histórica, sintetizada en las normas y códigos de construcción. La Figura 3.1 reproduce el mapa de zonificación de presión de vientos huracanados del Caribe Oriental, establecido en la Caribbean Uniform Building Code (CUBIC, 1985).

Los mayores daños ocasionados por huracanes son los causados a las estructuras expuestas a corrientes de inundación. En todo caso, los efectos de los huracanes son de tal magnitud e impacto en el servicio, que todas las empresas ubicadas en las áreas de riesgo están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras, implementar planes de mitigación y estar preparadas para enfrentar las emergencias y los desastres que pudieran presentarse con un plan de emergencia en continuo proceso de actualización y divulgación.

En el caso de las inundaciones, si bien existen modelos analíticos especializados para determinar precipitaciones y crecientes máximas, la información sobre las áreas que en el pasado han sufrido los efectos de este tipo de fenómenos es de gran valor para la evaluación de esta amenaza. El pronóstico sobre los niveles de agua en los cauces de los ríos es usual que

Figura 3.1
Mapa de isopresiones de vientos en el Caribe
(norma CUBIC, 1985)



sea determinado por un equipo de consultores privados o de institutos especializados, universidades y profesionales de la empresa. Un equipo profesional puede aportar los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo hidrológico, y las instituciones especializadas, como universidades, observatorios y otros, el conocimiento de las estructuras, su funcionamiento e importancia relativa como parte del sistema para priorizar las medidas de mitigación y establecer los procedimientos del plan de emergencia.

Por su parte, los períodos de lluvias extraordinarias asociados a las épocas de lluvia anuales y al comportamiento de fenómenos como el del Niño en el Pacífico, las corrientadas e inundaciones que generan, y los riesgos de contaminación constituyen un escenario de alto riesgo para las estructuras de captación superficial y tuberías cercanas a los cauces de agua.

Para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles a los componentes de los sistemas de agua potable en caso de erupciones volcánicas, se deberán identificar las áreas de cobertura de los materiales de erupción, cursos de lava, gases y cenizas prioritariamente, los cursos de agua afectados y la formación de avalanchas. Esta evaluación es simple de efectuar pues se conocen las áreas que en el pasado han sido afectadas y están documentadas en los institutos de sismología, vulcanología y meteorología, y defensa civil de los países sujetos a estos fenómenos. Los mayores daños son causados a las estructuras expuestas al impacto de corrientes de lava y de avalanchas de ceniza, piedras y agua. Además, las plantas de tratamiento, estructuras metálicas como tanques y cajas de válvulas en redes de distribución sufren ante el impacto de lluvias ácidas y de ceniza. Una erupción volcánica que coincide con períodos de lluvias produce avalanchas en los cursos de agua e inundaciones de extremo poder destructivo.

Los efectos de los sismos, huracanes, erupciones volcánicas, deslizamientos y sequías son de tal magnitud e impacto en el servicio que todas las empresas ubicadas en áreas de riesgo están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras.

Características de las amenazas y principales efectos

La información detallada que se presenta a continuación para cada tipo de amenaza servirá de base para completar la Matriz 5, Aspectos físicos e impacto en el servicio.

Bajo cada una de las amenazas, se realiza una descripción de los daños estimados en los diferentes componentes de los sistemas. La información está basada en la experiencia recogida por la CEPAL en las numerosas evaluaciones que ha realizado con posterioridad a algunos desastres en los países de América Latina y el Caribe, y se encuentra recopilada en la publicación "Manual para la Estimación de los Efectos Socioeconómicos de los Desastres Naturales", CEPAL, 1991².

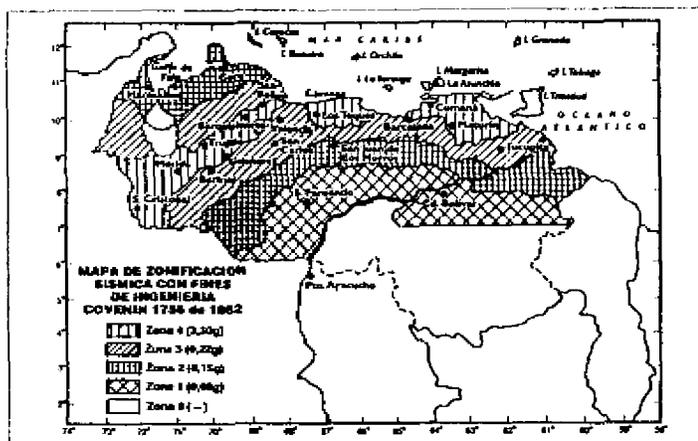
Terremotos

Para la caracterización de la amenaza sísmica, se dispone de información de varios niveles de complejidad, cuya utilización dependerá del tipo de estudio que se desee elaborar. Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son los siguientes:

- *Evaluación de la amenaza o peligrosidad sísmica*. Esta se fundamenta en la sismicidad de la región, las fuentes sísmogénicas, las correlaciones de atenuación, sus varianzas y el empleo de algoritmos de cálculo ad hoc.
- *Mapas de zonificación sísmica*. Son muchos los países en los cuales se han elaborado mapas de

² Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Manual para la estimación de los efectos socioeconómicos de los desastres naturales*, Santiago de Chile, División de Planificación de Programas y Operaciones, 1991.

Figura 3.2
Mapa de zonificación sísmica de Venezuela
(norma Covenin 1756 de 1982)



zonificación sísmica, de acuerdo a las necesidades específicas de su aplicación: diseño de edificaciones (véase por ejemplo el Mapa de la Figura 3.2), verificación de equipos de alto voltaje, diseño de puentes, elaboración de pólizas de seguros y/o reaseguros, y otros; los cuales se construyen al incorporar a los resultados obtenidos en la evaluación de la amenaza, los efectos conocidos de los principales sismos destructores sucedidos en tiempos históricos. Es muy conveniente complementar esta información con mapas sobre información geológica, en los cuales se destacan los sistemas de fallas activas o potencialmente activas y que hagan referencia a la calidad y tipos de suelos; estos también son conocidos como "mapas neotectónicos".

- **Movimientos vibratorios del terreno:** Entre los mapas recién citados, algunos estarán asociados a normativas vigentes como es el caso de la Figura 3.2. Generalmente, es en estos documentos donde se establecen las características de los movimientos vibratorios que serán incluidos en los análisis considerando la zonificación alludida, las características predominantes del terreno, los períodos medios de retorno y los factores de importancia que se establecen en las normas de diseño. En ausencia de esta información, lo cual puede suceder en algún país que no tenga normas para el diseño sismorresistente, se deben establecer probabilidades de excedencia suficientemente pequeñas para la selección de los movimientos máximos del terreno, o bien para las intensidades de las acciones a considerar.
- **Áreas potencialmente inestables a las acciones sísmicas:** Es poco probable que se disponga de esta información en forma de mapas de zonificación o microzonificación. No obstante, es importante tener un conocimiento razonablemente confiable en las áreas que ocupa el sistema de: (i) zonas de depósitos saturados, generalmente cercanas a ríos, antiguos deltas de ríos, playas de lagos o costas marinas, potencialmente licuables; (ii) terraplenes u obras de tierra susceptibles a sufrir desplazamientos laterales ("lateral spreading"); (iii) taludes naturales o artificiales, potencialmente inestables bajo las acciones sísmicas. En la Tabla 3.1 se reproducen tipos

Tabla 3.1
Tipos de desplazamientos permanentes del terreno debido a sismos
(Véase O'Rourke and McCaffrey, 1984)³

Designación	Descripción
Fallamiento	Desplazamiento de partes adyacentes de la corteza terrestre, concentrados en zonas de fallas relativamente angostas. Los principales tipos son transcurrentes, normales e inversas.
Licuefacción	Estado temporal de resistencia al corte, muy pequeña o nula, propia de suelos no cohesivos saturados sometidos a acciones vibratorias. Los desplazamientos asociados pueden ser uno o más de los siguientes: flujos laterales sobre suelos firmes con ángulos menores de unos 5 grados (desplazamiento lateral), subsidencia, o efectos de flotación. Los desplazamientos laterales pueden alcanzar metros, aún en pendientes con inclinaciones tan pequeñas como 0,5 a 1 grado ⁴ .
Deslizamientos	Movimiento en masa de terrenos en pendiente debido a fuerzas inerciales inducidas por el sismo. Pueden ser desde caídas de rocas y deslizamientos de masas superficiales de terreno, hasta traslación y rotación de grandes volúmenes de suelo y roca, por fallamiento a profundidad.
Densificación	Reducción de volumen causada por vibraciones que compactan los suelos no cohesivos, secos o parcialmente saturados.
Levantamiento tectónico o subsidencia	Cambios de dimensiones o topográficos, a nivel regional, asociados a la actividad tectónica. Generalmente resulta distribuida en grandes extensiones.

de desplazamientos permanentes del terreno debidos a sismos. Igualmente, la Tabla 3.2 sintetiza la correlación entre los diferentes tipos de deslizamientos y las intensidades de Mercalli (Keeler, 1984).

- *Longitud de ruptura y desplazamientos permanentes de fallas activas:* La magnitud Richter de un sismo está directamente relacionada a la longitud de ruptura o superficie del fallamiento, los desplazamientos máximos, y la caída de esfuerzos. Para los rangos promedio de caídas de esfuerzos en las zonas de ruptura, pueden resultar útiles los valores de la Tabla 3.3. En ella se establece la relación entre magnitudes Richter, rango de longitudes de rotura de fallas geológicas y rango de desplazamientos máximos, la cual es esencialmente válida para fallas de tipo transcurrente con focos poco profundos (entre unos 10 y 15 km. de profundidad aproximadamente). Los desplazamientos permanentes asociados a sismos, descritos en la Tabla 3.3, son particularmente problemáticos cuando interceptan túneles, tuberías enterradas o fundaciones de edificaciones.

³ O'Rourke T.D.; McCaffrey K. (1984) *Buried pipeline response to permanent earthquake ground movements*. VIIIth World Conference on Earthquake Engineering, Proc Vol VII, p. 215-222.

⁴ Por ejemplo, el efecto de licuefacción y deslizamiento ocurre muy a menudo durante un terremoto en terrenos no consolidados con fuertes pendientes y granos suaves y finos fácilmente desmontables. Las redes de tuberías deben ser instaladas en las áreas donde se han asentado los pobladores, por lo que el proyectista no tiene oportunidad de elegir en relación con la geología de la zona. Lo más que se puede hacer es proveer en el diseño una adecuada distribución de válvulas y la mayor flexibilidad posible en los sistemas de tuberías, con la esperanza de reducir al mínimo las roturas cuando los deslizamientos y la licuefacción ocurran (OPS/OMS, *Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia. Segunda parte—Identificación de posibles desastres y áreas de riesgo*, pág. 19, 1990.).

- *Maremotus o Tsunamis*: Epicentros submarinos con ciertos mecanismos focales, así como deslizamientos submarinos, que pueden originar perturbaciones en la masa de agua que se traducen en olas de altura importante e incursiones tierra adentro. En las zonas sísmicas de América se como con extensas áreas que ya han sido afectadas en tiempos históricos por este tipo de fenómenos.

Intensidad de Mercalli

Es una de las escalas más utilizadas para describir los efectos debidos a sismos, tomando en consideración los efectos sentidos por el hombre, los efectos en las construcciones y cambios en las condiciones naturales del terreno. La magnitud de un sismo es usualmente detectada por la escala Richter, que es una medida de la amplitud de la onda sísmica, la magnitud momentánea, o bien, la cantidad de energía desprendida es captada por las grabaciones de un sismógrafo. Además de la Escala de Mercalli actualmente también se emplean otras escalas en la cuales se incorpora información adicional sobre la calidad de las edificaciones, la estabilidad de taludes, instalaciones, y alturas de maremotos.

Una versión muy resumida de la Escala Modificada de Mercalli se reproduce en la Tabla 3.4.

Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema

Se considerarán las amenazas potenciales y el historial de sismos pasados (algunos ejemplos se presentan en el Anexo 1 de este documento). A continuación se anotan Indicaciones y sugerencias que pueden facilitar esta tarea.

Matrices de vulnerabilidad con respaldo estadístico: Se mencionó anteriormente el denominado "walkdown", que no es más que un recorrido de inspección del sistema. Los resultados de esta evaluación preliminar, generalmente respaldada por cálculos sencillos, pueden ser sintetizados en matrices de probabilidad de daños, las cuales son únicamente matrices de vulnerabilidad fundamentadas en información estadística y/o en la experiencia de quienes lleven a cabo tal inspección.

Tabla 3.2
Umbrales de intensidad sísmica para diferentes tipos de deslizamientos

Tipos de deslizamientos o fallas	Umbral de intensidad sísmica
Caida o deslizamientos de rocas y pequeños deslizamientos de suelos. Deslizamientos repentinos de bloques de suelos; casos aislados.	Eventos cercanos, de baja magnitud Richter (4 a 4.5) con IMM del orden de VI o más.
Deslizamientos repentinos de bloques de roca, cantidades masivas de roca; desparramamiento lateral.	Eventos relativamente cercanos con magnitudes Richter 5 a 5.5, con IMM de aproximadamente VII o más.
Avalanchas de rocas o suelos. Agrietamientos y roturas en paredes libres de roca sólida. Deslizamientos y desprendimientos importantes de suelos y/o roca, frecuentes en topografías irregulares.	Magnitudes Richter del orden de 6.5, con IMM del orden de VIII o más. Intensidades IMM grado IX o más.
Deslizamientos masivos de gran extensión; posible bloqueo de ríos y formación de nuevos lagos.	Intensidad IMM por lo menos grado X.

Tabla 3.3
Rangos de magnitudes, longitudes de rotura y desplazamientos máximos permanentes

Rango de magnitudes Richter	Rango de longitudes de rotura superficial de la falla geológica (km.)	Rango de desplazamientos permanentes (cm)
6,1 a 6,4	10 a 20	40 a 60
6,5 a 6,8	20 a 40	70 a 100
6,9 a 7,2	50 a 120	110 a 160
7,3 a 7,6	130 a 240	180 a 240

Matrices de vulnerabilidad basadas en estudios analíticos: Como ya se indicó, en los sistemas de producción, transporte y distribución de agua potable, así como en los de alcantarillado, hay componentes para los cuales la información estadística es muy limitada o inexistente; tal es el caso de las torre-toma en grandes embalses o chimeneas (torres) disipadoras de energía. En esos casos es preciso evaluar modelos matemáticos y traducir los resultados obtenidos a matrices de probabilidad de daños en los términos ya descritos.

Tabla 3.4
Breve descripción de la Escala Modificada de Mercalli

Intensidad	Descripción
I	Detectada por instrumentos muy sensibles.
II	Sentido únicamente por personas en estado de reposo.
III	Sentido en el interior de edificaciones mediante vibraciones similares al paso de un camión.
IV	Movimientos de platos, ventanas, lámparas.
V	Ruptura de platos, ventanas y otros.
VI	Caída de acabados, chimeneas, daños estructurales menores.
VII	Daños considerables en edificios mal contruidos.
VIII	Caída de paredes, monumentos, chimeneas.
IX	Movimientos de fundaciones en edificios de mampostería, grandes grietas en el suelo, rotura de tuberías.
X	Destrucción de la mayoría de la mampostería, grandes grietas en el suelo, doblamiento de rieles de ferrocarril, derrumbes y deslizamientos.
XI	Sólo permanecen muy pocas construcciones, ruptura de puentes.
XII	Daño total, presencia de ondas en la superficie, distorsión de líneas de nivel, objetos arrojados al aire.

Efectos generales de los terremotos

Según su magnitud, los terremotos pueden producir fallas en las rocas, en el subsuelo, hundimientos de la superficie del terreno, derrumbes, deslizamientos de tierras y avalanchas de lodo⁵; pueden asimismo reblandecer suelos saturados (debido a la vibración), reduciendo la capacidad de sustentación de fenómenos, combinados con la ondulación del suelo, puede producir destrucción y otros daños directos en cualquier parte de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado sanitario o desagües de aguas lluvias, ubicados dentro del área afectada por el sismo⁶.

La magnitud y características de los daños estará usualmente relacionada con:

- o La magnitud del terremoto y la extensión geográfica que cubre;
- o El diseño antisísmico de las obras, su calidad constructiva, su tecnología, su mantenimiento y estado real a la fecha del desastre;
- o La calidad del terreno donde se sitúan las obras y también el de la zona adyacente ya que existe la posibilidad de que las obras mismas resistan al sismo, pero un deslizamiento de tierras adyacentes, por ejemplo, podría causar daños por efecto "en cadena" del terremoto, es también el caso de la rotura de una presa, destruida por el sismo, que podría dañar obras de este sector por efecto de la avalancha de las aguas.

La mayor parte de estas obras, especialmente las cañerías de agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado de aguas lluvias, se construyen bajo el nivel del suelo; luego se rellenan las excavaciones, por lo que no están usualmente a la vista. Estas estructuras enterradas reaccionan, frente a un sismo, de manera distinta que los edificios o estructuras sobre el nivel del suelo.

Daños producidos por terremotos

a) *Obras sobre el nivel del suelo*: Son obras que en su mayor parte están a la vista, por lo que es posible una apreciación visual de los daños casi desde el momento de producirse un sismo. En estas obras, la resistencia de la estructura depende de la relación entre su rigidez y su masa, mientras que para las cañerías enterradas no es relevante la masa, sino principalmente las deformaciones del terreno producidas por el movimiento telúrico.

- i) *Edificios, bodegas, viviendas y casas de máquinas*: Tanto los edificios de administración de los servicios, las bodegas de materiales, las viviendas de técnicos, cuidadores y operarios, así como diversos tipos de casas de máquinas o plantas, tenderán a comportarse en forma semejante a construcciones similares de otros sectores como vivienda, salud, etc. y a sufrir daños tales como fisuras, grietas, colapsos parciales o totales. El nivel de daños dependerá del diseño sismorresistente y materiales empleados en la construcción de estas obras.
- ii) *Estanques*: En el caso de los estanques de agua, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las solicitaciones producidas por el sismo. Si son estanques elevados existe el riesgo adicional de que las vibraciones de los terremotos puedan hacerlos resonar. "Esta tendencia de las edificaciones elevadas a vibrar al compás de las vibraciones del suelo natural alcanza su intensidad máxima cuando se asientan sobre capas gruesas de depósitos no consolidados"⁷. Además de los efectos del sismo sobre la estructura de los estanques, la oscilación y olas del agua almacenada puede

⁵ También grandes lluvias pueden producir derrumbes, deslizamientos y avalanchas de lodo.

⁶ Más adelante se incluye un listado de los tipos de daños que pueden sufrir las distintas partes de estos sistemas.

⁷ IINDRU, *Prevención y mitigación de desastres*, Vol. B, Aspectos de saneamiento", 1982.

implicar riesgos adicionales, especialmente cuando no se han diseñado placas amortiguadoras en su interior. Según la calidad de diseños, construcción y mantenimiento de los estanques, por una parte, combinado con la magnitud del sismo y la forma de reacción del suelo, por otra, pueden producirse desde daños menores hasta daños muy graves incluyendo su derrumbe o colapso. En caso que el agua derramada tenga un volumen importante puede producir daños adicionales de consideración.

- Estanques semi-enterrados. Los estanques semienterrados⁸, construidos usualmente de mampostería de piedra, de hormigón, hormigón armado u otros materiales, pueden sufrir daños tales como:
 - grietas en los muros, piso, cubierta o en las zonas de encuentro de dichos elementos, así como en los lugares de entrada o salida de las cañerías. Estas grietas pueden variar desde las fácilmente reparables, hasta las que implican reconstruir totalmente la obra.
 - derrumbe parcial de la cubierta, pilares interiores o parte de muros o piso, que pueden requerir desde reparaciones parciales de cierta importancia a la reconstrucción total.
 - derrumbe o colapso de la obra.
- Estanques elevados. Los estanques elevados⁹ de tamaño regular o grande se construyen usualmente de acero o de hormigón armado.
 - Los tanques sostenidos por estructuras de acero, con amplios tirantes diagonales, soportan bien los terremotos; su punto más vulnerable está donde los tubos (que forman la estructura soportante) penetran en la tierra. Sin embargo, diversas formas de diseño, construcción y mantenimiento de los estanques de acero, combinado con diversas magnitudes de los sismos y distinta respuesta del terreno de fundación, podrían producir:
 - daños leves como cortadura de tirantes diagonales, los que pueden ser reparados o reemplazados rápidamente;
 - daños en la estructura de apoyo, y/o en la cuba (donde se almacena el agua), que pueden variar desde menores hasta graves, y que pueden producirse, más probablemente, en la zona de unión con la estructura soportante o donde entran o salen las cañerías de agua;
 - colapso o derrumbe de la obra;
 - Los tanques de hormigón, debido a sismos podrían verse afectados de la siguiente manera:
 - pérdidas superficiales de estacos, fácilmente reparables, aunque pueden requerir andamios;
 - daños en cañerías de entrada o salida del estanque o de elementos sobrepuestos, tales como escalas de acceso o similares, que en sí no comprometen la estructura del estanque y pueden ser reparables con labores de simple a mediana dificultad;
 - grietas en la estructura de apoyo y/o en la cuba, las que pueden producirse, por ejemplo, en las zonas de traslape de excesivo número de armaduras de hierro; en las zonas en que las cañerías cruzan los muros de hormigón; en la unión de cuba y estructura soportante o en la base de esta última;
 - desajuste o inclinación de la estructura o fallas en las fundaciones, usualmente de significado muy grave;
 - derrumbe o colapso de la obra.

⁸ Se incluye aquí los estanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.

⁹ Se incluye aquí los estanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.

Según UNDRR, el índice de supervivencia de los estanques elevados de hormigón armado es menor que los de acero y las precauciones para su construcción están menos claramente definidas. Una estructura de hormigón armado puede esconder mucho más los daños que una estructura de acero, por lo que todo daño que vaya más allá de pérdidas superficiales del estuco, debiera ser examinado y diagnosticado por un especialista, a fin de evitar que lo que puedan parecer simples grietas se transformen, con un nuevo sismo, en origen de un problema más grave.

- Pequeños estanques elevados. Son estanques pequeños de almacenamiento de agua, usados para viviendas aisladas, pequeños grupos de viviendas, escuelas, pequeñas industrias, etc., éstos se construyen en una gran variedad de materiales que incluyen estructura de apoyo de madera, o perfiles metálicos u hormigón armado, etc. y la cuba de plancha de hierro corrugado o liso, cemento asbesto, fibra de vidrio u hormigón armado, etc.
 - Los estanques de hierro corrugado se derrumban con frecuencia ante los terremotos, pero la experiencia indica que esto se debe más al mal mantenimiento que a la inestabilidad.
 - Los pequeños estanques elevados pueden sufrir daños en la estructura de apoyo y/o en la cuba, desde ligeros, fácilmente reparables, hasta el desplome de la estructura y/o necesidad de cambiar la cuba. En las estructuras de madera probablemente se pueda recuperar parte del material lo mismo que en las estructuras metálicas (excepto las partes que puedan estar corroídas).
- iii) *Represas y embalses:* Se considera sólo las represas y embalses para abastecimientos de agua potable. Un movimiento sísmico importante puede ocasionar grandes olas en el embalse con el riesgo de que rebasen por sobre la presa. Este peligro puede ser aún mayor cuando derrumbes o deslizamientos de tierras, producidas por el propio terremoto, caen dentro del embalse, produciendo casi un maremoto interior. La ruptura de una represa puede tener consecuencias muy graves y muy inciertas por efecto de la avalancha de las aguas que pueden afectar a poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.
 - Represas en relleno rocosa. Son más flexibles que las de hormigón y más resistentes que las de tierra pero, como se suele utilizar hormigón o arcilla para impermeabilizarlas, estos materiales pueden agrietarse con un terremoto y presentar fugas de agua. Los daños que se pueden presentar serían:
 - grietas o filtraciones menores, medianas o grandes;
 - embanques del embalse por derrumbes;
 - colapso o derrumbe de la presa.
 - Represas de tierra. Pueden sufrir daños, durante un sismo, debido a fallas en las cimentaciones, grietas en los núcleos, deslizamientos de tierras en los diques o rebalses sobre la cortina debido a olas en el embalse, o derrumbes en el propio borde de contención. Los posibles daños son:
 - daños menores que, si implican filtraciones, deben repararse con urgencia para evitar el aumento de las fugas debido a la erosión;
 - embanques por derrumbes, los que habría que dragar si es necesario;
 - el colapso o derrumbe de la represa.
 - Presas de hormigón. Pueden agrietarse o sufrir fallas en las fundaciones. También, como en todas las presas, existe el peligro de que se formen olas que rebasen la cortina. Los daños que podrían presentarse son:

- grietas o filtraciones menores que debieran repararse rápidamente;
- las grietas que van de medianas a mayores que pudieran requerir incluso el vaciamiento del embalse para repararlas (lo que puede implicar la pérdida de agua almacenada);
- embanques por derrumbes;
- colapso o derrumbe de la presa.

b) *Obras bajo el nivel del suelo o enterradas.* Se incluye en este punto las obras ubicadas bajo el nivel del suelo, principalmente:

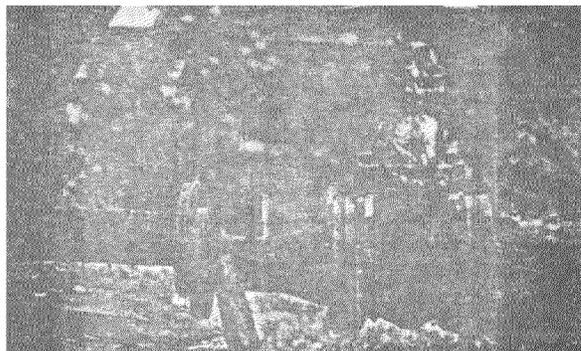
- toda clase de cañerías y conductos de agua potable, alcantarillados sanitarios y desagües de aguas lluvias, incluyendo las respectivas redes de distribución, cámaras, válvulas e instalaciones domiciliarias;
- las captaciones de aguas subterráneas como pozos, drenes, galerías, etc.

Estas obras presentan diferencias significativas con las que están sobre el nivel del suelo, ya que la mayor parte no está a la vista, por lo que la mayoría de los daños directos no serán visibles. Ello hará que la determinación real de los daños sea usualmente mucho más lenta y laboriosa. En el terremoto de Ciudad de México¹⁰, por ejemplo, aunque a los 15 días de ocurrido el desastre se había reparado los daños mayores en los acueductos de agua potable, se requirió de meses para completar las reparaciones menores y fue aún más complejo y lento reparar las redes de alcantarillado pluvial y sanitario.

El sismo actúa con fuerzas de inercia sobre las construcciones que se levantan sobre el nivel del suelo; en cambio, las estructuras enterradas (como las cañerías, por ejemplo) se mueven con el suelo, experimentando deformaciones que pueden provocar daños en este tipo de componentes. Los terremotos ocasionan daños en las tuberías y/o en sus uniones rígidas. Esto implica que se puede esperar menores daños en las cañerías relativamente más flexibles (de PVC o acero soldado, por ejemplo) y mayores en las cañerías más rígidas de, por ejemplo, mortero comprimido, hormigón, hierro fundido y cemento asbesto, especialmente si tienen uniones rígidas.

i) *Influencia de los tipos de suelo de los daños.* En suelos en terraplén, que son construidos con rellenos, o en terrenos blandos, se pueden producir grietas debido al sismo, que pueden provocar rupturas en las cañerías ubicadas en ellos. También se ha observado

faltas de las tuberías en zonas de transición de la calidad del suelo, lo mismo que por cambio de los espesores de los rellenos naturales.



Algunos daños pueden afectar a la cantidad o calidad de agua suministrada.

¹⁰ Véase CEPAL, *Daños causados por el movimiento telúrico en México y sus repercusiones sobre la economía del país, octubre de 1985.*

El reblandecimiento del suelo es uno de los efectos más dañinos de los terremotos ya que reduce la capacidad de sustento de las fundaciones. Gran parte del daño de las tuberías, en terrenos de aluvión o de arena saturada de agua, se debe al reblandecimiento ocasionado por las vibraciones de los sismos. Se conoce un caso, en el Japón, en que una zona de arenas saturadas, debido a la vibración del sismo, se convirtió prácticamente en un líquido en el que tubos y cámaras "flotaron", causando grandes daños a las instalaciones.

Por otra parte, conviene tener presente que las tuberías de gran diámetro, ubicados a poca profundidad, sufren más daños que los de diámetro menor, debido a que tienen menos capacidad para resistir las "ondas Rayleigh" que debido al sismo se desplazan sobre la superficie del terreno en forma semejante, pero menos obvias que las olas del mar.

Otra zona de peligro para las tuberías de agua o alcantarillado es su proximidad a edificios derrumbados por el sismo. La ruptura de cañerías que entran o salen del edificio puede dañar por arrastre a las tuberías de la red pública a las que están conectadas.

- ii) *Utilidad de planos y mapas de riesgos sísmicos, según calidad de terrenos.* Dadas las dificultades para ubicar los daños en las cañerías existentes sería recomendable revisar los planos de riesgos sísmicos de las localidades afectadas por el terremoto (si es que existen), ya que habrá más probabilidad de que ocurran daños en las zonas más vulnerables al sismo, por ejemplo:

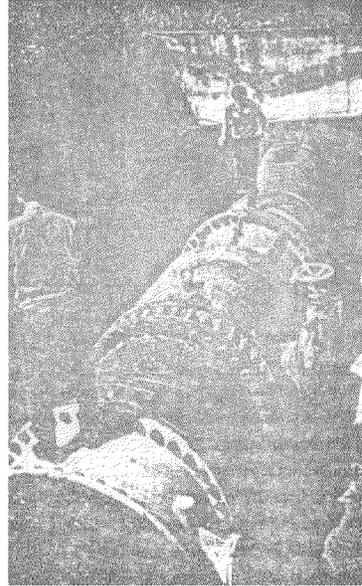
- Áreas con capas profundas de suelos "blandos", arenas y gravas sedimentarias, ciénagas y terrenos rellenados (subsuelos que no amortiguan las vibraciones de los terremotos como las rocas duras);
- Áreas con capas de arena suelta, saturada de agua y otras capas de suelo carentes de cohesión, en las que se puede reblandecer el suelo;
- Fallas en los estratos de rocas: las tuberías que atraviesan esas fallas pueden sufrir daños.

- iii) *Sugerencias para encontrar daños en las tuberías:*

o *Cañerías de agua potable.* Los daños en las cañerías de agua potable producen, por lo común, afloramientos de agua en zonas cercanas a las roturas de tubos o uniones, pero para determinar su magnitud y alcance y hacer las reparaciones (que usualmente son urgentes) habrá que excavar y poner al descubierto las cañerías rotas. Sin embargo, es posible que la alta permeabilidad del suelo en que se produjeron las roturas o presión baja del agua, oculte zonas de roturas que tal vez se podrían ir detectando posteriormente, una vez reinstalado el servicio, considerando por ejemplo:

- ◆ Nuevos afloramientos de agua, evidenciados por aumentos de la presión en la red una vez que se reparan las roturas detectadas primero;
- ◆ Existencia de áreas de la ciudad o pueblo que siguen sin recibir agua o que disponen de menor presión que en situación normal, lo que puede deberse a daños en cañerías alimentadoras de esas zonas, las que habría que identificar y reparar;
- ◆ Detección de fugas. Esto puede ser muy demoroso, especialmente si no se dispone del equipamiento y experiencia a nivel local. Por otra parte, puede resultar difícil saber cuáles fugas se deben al sismo y cuáles son anteriores a él;
- ◆ Mediante la utilización de medidores de caudal en las alimentadoras o en la red, si es que existen o pueden instalarse en los puntos adecuados, para determinar la posible existencia de otras fugas;

□ *Tuberías de alcantarillado sanitario.* Las roturas en estas tuberías pueden implicar afloramientos de aguas servidas a la superficie del terreno lo que puede ser indicativo de una zona de daños. Sin embargo, debido a que estas tuberías funcionan normalmente en escurrimiento abierto, sin presión, puede haber menos fugas visibles que en las cañerías de agua potable, en las que la presión puede facilitar que se evidencien. Por otra parte, la existencia de cámaras de inspección puede facilitar la estimación visual del caudal en cámaras sucesivas, lo que puede ayudar tanto a ubicar los tramos con fugas (por comparación del caudal en cámaras sucesivas), tuberías (por comparación de los niveles de aguas servidas en cámaras vecinas). Esas obstrucciones, si no existían antes del sismo, pueden ser producto de roturas en las tuberías debido al

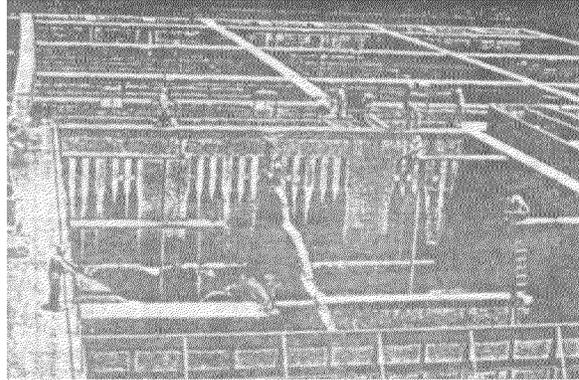


Muchas veces los materiales elegidos para la construcción no son los adecuados para soportar esfuerzos sismicos.

terremoto. Por otro lado, en las áreas que no cuenten con suministro de agua potable (debido a los efectos del desastre) tampoco habrá aguas servidas de retorno, de modo que una inspección final de la situación del alcantarillado requiere la previa regularización del servicio de agua potable.

- *Tuberías de sistemas de alcantarillado de agua de lluvias.* Si el desastre ocurre durante época de lluvias, el examen de este sistema puede ser similar al indicado en el punto anterior. En cambio, si ocurre en época seca, la inspección de daños podría considerar un reconocimiento visual, recorriendo los canales de desagüe y los grandes colectores visibles, si es que existen, y un reconocimiento de los tramos de menor diámetro desde las cámaras de inspección vecinas a ellos.
- iv) *Riesgo de contaminación del agua en las redes de agua potable:* Si se rompen simultáneamente las cañerías de las redes de agua potable y las de alcantarillado sanitario, es posible que algo de aguas servidas se mezcle o penetre a la red de agua potable. Ello se debe a que usualmente las cañerías de agua potable y de alcantarillado sanitario se construyen en forma paralela, por las mismas calles y a pocos metros entre sus ejes. Así, pueden haber roturas cercanas en ambas cañerías que posibiliten la entrada de aguas servidas a la red de agua potable (especialmente si es considerable el volumen de aguas servidas vertidas al terreno). En algunas oportunidades existen aguas subterráneas superficiales que cubren las redes de agua potable y de alcantarillado. Si el sismo produce roturas y fugas en la red de alcantarillado se contaminará la napa freática. Por su parte, esa napa

superficial puede contaminar el agua de la red de agua a través de roturas en la misma o por infiltración hacia la red de agua potable por juntas no herméticas, si en esa red



Algunos daños pueden afectar gravemente al suministro de agua potable.

se producen presiones negativas (menores que la atmosférica), debido a roturas en partes más bajas o por efectos de racionamientos del agua potable.

c) *Captaciones de aguas subterráneas.* En zonas donde se extrae agua de pozos o galerías profundas puede ocurrir que el terremoto ocasione que las napas de aguas subterráneas se encaucen hacia fallas recién abiertas, determinando una disminución (e incluso agotamiento) del caudal que se obtenía de dichas captaciones. Por otra parte existe el riesgo de que el agua subterránea se contamine con grietas o fallas recién abiertas que conectan el agua superficial o agua de letrinas con la napa subterránea. Este es un riesgo serio ya que puede dejar fuera de posibilidades de uso una o varias captaciones.

- Pozos profundos, pozos de mediano y de gran diámetro: Dada la variedad de pozos que existen se pueden producir daños variados que van desde:
 - hundimiento del suelo alrededor del pozo, con daños de leves a graves;
 - el colapso y pérdida total del pozo (debido, por ejemplo, a una falla que pasa por el mismo pozo y produce su colapso, o por derrumbes que lo cubren)
 - daños en los mecanismos de bombeo de leves a graves (los equipos de bombeo se evaluarán por separado).
- Galerías de infiltración o drenes¹¹: debido al sismo se pueden producir diversos tipos de daños, como los siguientes:
 - grietas en los muros, tubos o dovelas que forman el dren o galería que pueden variar desde grietas pequeñas, relativamente fáciles de reparar (si la galería es visitable) hasta grietas mayores que pueden requerir colocar refuerzos interiores o cambiar el revestimiento;
 - derrumbe de parte de la galería o dren o de algunos de los pozos de inspección;
 - colapso total de la galería o dren;
 - daños en los equipos de bombeo (si existen), los que se evaluarán por separado.

d) *Contaminación de las fuentes de agua potable.* En el punto anterior se hizo referencia a los riesgos de contaminación del agua subterránea, pero es mucho más frecuente que ocurra contaminación de fuentes superficiales de agua potable, ya sea por presencia de animales muertos, vaciamiento

¹¹ Galería de infiltración: se trata de un tipo de captación semejante a un dren, pero construida a mayor profundidad, tal como el túnel, con pequeñas aberturas en los muros, para que penetre el agua subterránea.